

Е.К. Гаргер¹, д.ф.-м.н., **Т.Д. Лев¹**, к.г.н., **Н.Н. Талерко¹**, к.ф.-м.н., **И.В. Ковалец²**, к.ф.-м.н.

¹Институт проблем безопасности АЭС (ИПБ АЭС) НАН Украины,

²Институт проблем математических машин и систем (ИПММС) НАН Украины

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ЧИСЛЕННОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ «ММ5» ДЛЯ МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ АВАРИЙНОГО РЕАГИРОВАНИЯ АЭС

Аннотация. Проведена адаптация открытой численной модели прогноза погоды ММ5 к географическим условиям Украины и проанализирована предварительная оценка успешности прогнозов барического и температурного полей для территории Украины и районов расположения АЭС. Взаимодействие модели ММ5 и диффузионной модели LEDI обеспечивает необходимую оперативность в оценке распространения радиоактивных выбросов из АЭС.

Ключевые слова: численный прогноз, адаптация, оправдываемость, моделирование, аварийная ситуация.

1 Введение

Для оценки радиационного воздействия аварийных выбросов АЭС на население и на объекты окружающей среды с помощью моделей атмосферного переноса необходимо выполнение требования МАГАТЕ № NS-G-3.2 [6]: метеорологические данные должны быть совместимы по условиям их природы, сфере действия и погрешности с методами и моделями, в которых они будут использоваться». ИПБ АЭС НАН Украины располагает мезомасштабной диффузионной моделью переноса и осаждения радиоактивных выбросов из АЭС «LEDI», которая была разработана после аварии на ЧАЭС и верифицирована на данных чернобыльского загрязнения [7]. Для реализации и использования разработанной модели при коммунальных авариях необходимо обеспечить модель соответствующими данными: информацией о географических особенностях территорий АЭС, входной метеорологической информацией в виде данных численного прогноза погоды, получаемых независимой мезомасштабной моделью прогноза погоды (ММ5, WRF, HIRLAM). В настоящее время Украинский гидрометеорологический центр не располагает национальной моделью численного прогноза погоды с необходимым пространственно-временным разрешением. В связи с этим, перед нами стояла задача использовать доступные в международной прогностической практике высококачественные данные прогноза погоды с высоким вертикальным и горизонтальным разрешением. Была выбрана открытая, доступная через Интернет, хорошо документированная и протестированная модель прогноза погоды США ММ5. Установка, инсталляция модели, ее реализация на операционной системе LINUX была проведена ИПБ АЭС совместно с ИПММС НАНУ. Реализация модели ММ5 для метеообеспечения модели атмосферного переноса «LEDI» была проведена по следующему алгоритму:

- инициализация и адаптация входной стационарной информации (категорий землепользования, рельефа, растительности, почвы, температуры подстилающей поверхности) к условиям Украины,
- оценка успешности (оправдываемости) прогнозов метеорологических параметров по модели ММ5 для территории Украины и районов АЭС,
- совместное использование моделей «ММ5–LEDI» для расчетов формирования радиоактивных выпадений из АЭС в случае аварийной ситуации.

2 Адаптация гидродинамической модели прогноза погоды ММ5 к условиям Украины

Адаптация данных о растительности/землепользовании почвы и температуры подстилающей поверхности в модели ММ5 к условиям Украины проводилась в три этапа:

1. нахождение соответствия между классификаторами, используемыми в модели ММ5 и применяемыми в Украине,
2. проведение классификации цифровых карт растительности и почвы в категории модели ММ5 средствами геоинформационных систем (ГИС),
3. построение «сеточных» данных в категориях растительности и почвы путем проведения оверлейных операций прямоугольных сеток с шагами (81, 27, 9, 3 км) в проекции Ламберта для главных широт Украины 43° и 53° с полигональными картографическими покрытиями.

В качестве исходных картографических данных по территории Украины были использованы цифровые материалы из Географического Атласа Украины (разработчики Институт географии НАН Украины и ООО «ИС ГЕО») масштаба 1:3000000: карты растительности и почвы с соответствующими легендами (классификаторами). Корректировка температуры подстилающей поверхности проводилась с использованием климатических данных Укргидромета. Источниками географической информации в модели ММ5 являются:

- для 25 категорий растительности/землепользования - данные геологической службы США (USGS) в узлах сетки с 30-сек. шагом (0, 925 км) в проекции Ламберта;
- для 17 категорий почвы - данные Продовольственной и сельскохозяйственной организации (FAO) и Государственной географической базы почвенных данных (State Soil Geographic «STATSGO» Database) в узлах сетки с 30-сек. шагом (0, 925 км) в проекции Ламберта.

В соответствии с 25 категориями растительности/землепользования в модели ММ5 были укрупнены классы растительного покрова из географического Атласа Украины. Средствами ГИС MapInfo было проведено редактирование цифровых покрытий с добавлением отдельных признаков, таких как, орошаемые и осушенные земли. Рисунок 1 демонстрирует пространственное распределение растительного покрова в модели ММ5 (источник – USGS) и с использованием данных географического атласа Украины.

Сравнительный анализ распределения категорий землепользования по территории Украины показал, что: по данным географического атласа Украины около 80% территории страны занимает категория землепользования «пашня/луг, мозаика», а по данным источника USGS – 21%. По данным модели ММ5 56% территории Украины занимают осушенные земли и 15% – категория «пашня/лес». Таким образом, отредактированные цифровые карты типов растительности/землепользования послужили основой для использования корректной параметрической информации (шероховатости, скоростей сухого осаждения т.д.) в гидродинамических уравнениях модели ММ5.

Подобным образом была переклассифицирована почвенная карта Украины в категории модели ММ5. Однозначного перехода от одной классификации к другой не существует. Однако, по данным Аттерберга о процентном содержании песка, глины и ила в почве с использованием треугольника Ферре и классификатора механического

состава почв Н.А.Качинского было найдено соответствие для почв [1,8]. Распределение занимаемых площадей по категориям почв показывает, что в отличие от модельных данных, в Украине фактически представлено четыре класса механического состава почвы в категориях MM5: песчаный суглинок, илистый суглинок, глинистый суглинок и глина.

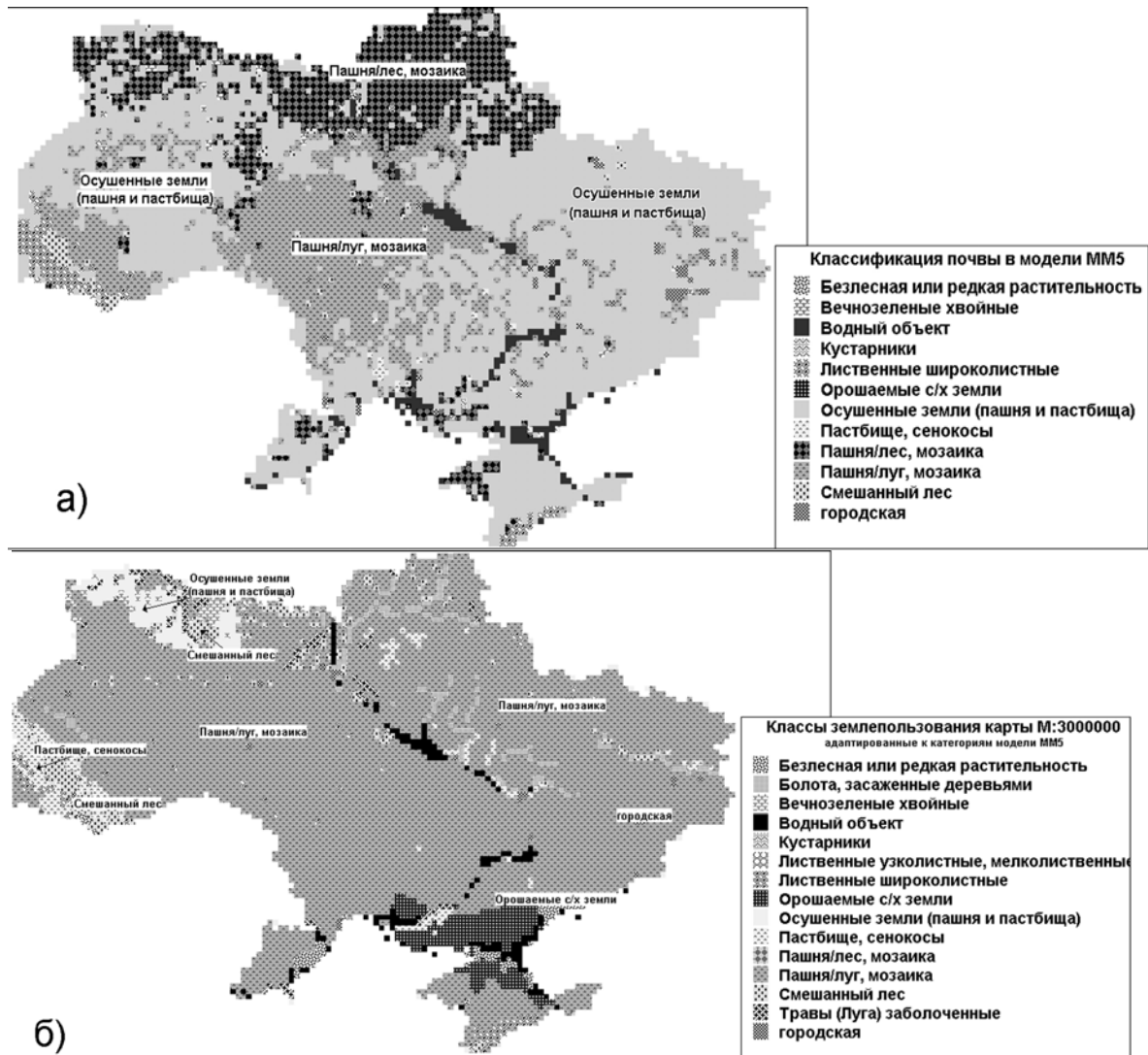


Рис. 1 – Пространственное распределение растительности по территории Украины: (а) источник – USGS; (б) источник – географический Атлас Украины.

Откорректированные цифровые (полигональные) карты растительности и почвы были пересечены с построенными регулярными сетками (DOMAINS) в проекции Ламберта с шагами – 81, 27, 9 км для территории Украины и шагом 3 км для территорий АЭС.

3 Численные результаты и оценки оправдываемости прогноза метеорологических полей модели MM5

Подготовленная и адаптированная к географическим условиям Украины входная информация была конвертирована в блок TERRAIN и использована для проведения численных экспериментов и оценки оправдываемости прогноза погоды для территорий

Украины и отдельно атомных станций. Оценка оправдываемости проводилась в соответствии с методическими указаниями [3] для метеорологических элементов: температура, геопотенциал, скорость и направление ветра для изобарических поверхностей 1000, 925, 850 и 700 гПа на срок прогноза 24 ч. Расчеты были сделаны для различных типов синоптических ситуаций с большой и малой фактической изменчивостью полей. Тестирование схемы ММ5 проводилось при закрепленных схемах вычисления ПСА¹, облачности, конвекции, радиации и т.д.

Были отобраны: две выборки данных (данные реанализа от NCEP²: апрель-май 1986 и октябрь 2006 гг.). Всего проанализировано 69 случаев. Вычисления были сделаны для территории Украины с шагами сетки – 81, 27 и 9 км и для территорий атомных станции с шагом сетки – 3 км.

Предварительно была проведена классификация синоптических ситуаций по «эталонному типу» [4,5]. Было выделено 8 эталонных типов для данной выборки и 2 основных типа ситуации, характерных для выбранных периодов представлены в табл.1.

Таблица 1 –Повторяемость основных типовых классов синоптических ситуаций

Тип синоптической ситуации	Характеристика ситуации	Повторяемость, %
1. Ось гребня, антициклон	Стабильная погода, незначительные горизонтальные градиенты давления.	27,5
6. Седловина, малоградиентное поле	Малые горизонтальные барические градиенты, слабые ветры или штилевая погода	39,1

Численные результаты были обработаны и систематизированы по классам синоптических ситуаций и по критерию «фактической изменчивости». Результаты осредненных оценок для основных метеопараметров представлены в табл. 2.

Таблица 2 –Средняя оценка оправдываемости прогноза геопотенциала, температуры и ветра на 24 ч. в узлах сетки по модели ММ5 (1986, 2006 гг.).

Средняя оценка оправдываемости (69 случаев)	δ^3	σ^4	ε^5	δ^6
Барического поля (1000-700 гПа)	14.3 м	17.6	0.51	3.7 м
Поля температуры (925-700 гПа)	1.5°C	1.9	0.66	-0.1°C
Скорости ветра, м/сек	1,4	1,8		0,5
Направления ветра, град.	37			

Численные прогнозы на 24 ч. показывают хорошие оценки оправдываемости прогнозов метеорологических параметров: относительная ошибка геопотенциала

¹ ПСА – пограничный слой атмосферы

² NCEP – National Centers for Environmental Prediction (Национальный центр прогноза окружающей среды)

³ Средняя абсолютная ошибка прогноза

⁴ Средняя квадратичная ошибка прогноза

⁵ Средняя относительная ошибка прогноза

⁶ Средняя систематическая ошибка прогноза

изменяется от 0,4 до 0,67 на уровнях 1000–700 гПа. Относительные ошибки прогноза геопотенциала для классов ситуаций «с малоградиентными полями» и для «восточной периферии антициклонов» небольшие: 0,42–0,43; абсолютная ошибка прогноза температуры для указанных классов не превышает 2°C, что соответствует уровню 100% оправдываемости прогнозов. Относительная ошибка прогноза температуры на уровнях выше 1000 гПа изменяется в среднем от 0,4 до 0,7. Относительная ошибка прогноза для приземной температуры воздуха значительно выше и меняется от 0,8 до 1 и выше. Был проведен сравнительный анализ статистических оценок оправдываемости численных прогнозов геопотенциала с различными шагами сетки и для разных градаций фактической изменчивости. Для областей с шагом сетки 3 км все статистические характеристики оценок оправдываемости прогноза температуры и геопотенциала уменьшаются с уменьшением шага сетки для всех изобарических поверхностей. Наибольшие относительные ошибки прогноза геопотенциала наблюдаются для случаев с малой (0–10 м) и большой фактической изменчивостью (>40 м), что подтверждается и другими авторами [2].

Подготовленный вариант модели MM5 был использован для проведения расчетов формирования полей радиоактивных выпадений по региональной диффузионной модели переноса примеси в атмосфере LEDI [7]. Модель «LEDI» разработана для расчетов переноса примеси на расстояния до 1000 км от газоаэрозольного “точечного” источника с эффективной высотой выброса от 0 до 1500 м для различных его типов по длительности выброса (залповый, конечного времени действия, непрерывный). В модели используется сочетание лагранжевого и эйлерового подходов к моделированию распространения примеси (лагранжева траекторная модель переноса клуба примеси + уравнение турбулентной диффузии для описания дисперсии примеси внутри каждого клуба). Модель позволяет рассчитывать распространение примеси в нестационарных (вследствие суточного хода характеристик пограничного слоя атмосферы или изменений погоды) и горизонтально неоднородных метеорологических полях.

Модель адаптирована к использованию как данных прямых измерений метеорологической информации (в частности, данных радиозондирования атмосферы), так и данных расчетов численной модели прогноза погоды MM5. В последнем случае в качестве входных данных для LEDI используются результаты расчетов метеорологических параметров (3-хмерного поля скорости ветра, температуры воздуха, давления, атмосферных осадков, высоты пограничного слоя атмосферы, динамической скорости, масштаба Мони́на-Обухова), а также характеристики подстилающей поверхности (рельеф, значения параметра шероховатости подстилающей поверхности) из исходной для MM5 информации (данные TERRAIN).

Расчеты были проведены для нестационарных условий – выход и прохождение циклона по территории Украины с СЗ на ЮВ для случая гипотетической аварийной ситуации на Ровенской АЭС с использованием разных наборов метеоинформации (рис. 2):

- данных численного прогноза погоды по модели MM5- периодичность вывода прогностических данных для «LEDI» 1 ч.,
- данных службы Укргидромета (7 близлежащих станций) – периодичность поступления текущих данных для «LEDI» – 3 ч.
- данных станций ветрового зондирования (Шепетовка, Брест) – периодичность поступления текущих данных для «LEDI» – 12 ч.

Результаты показали, что при нестационарных синоптических процессах (прохождение фронта, конвективные явления и т.п.) использование только текущей

информации Гидрометцентра (рис. 2б, 2в) для прогнозирования радиоактивного загрязнения дает существенные ошибки даже в зоне АЭС (на расстоянии до 30 км.) В этом случае ошибка в определении направления распространения радиоактивного загрязнения может достигать 40-90 град. Использование данных численного прогноза погоды (с разрешением сетки 9–3 км и шагом вывода данных по времени 1 ч.) значительно улучшает прогноз развития радиационной обстановки в зоне ответственности АЭС. Положительный эффект от такого прогнозирования для данного расчета состоит в предупреждении и минимизации последствий радиационного облучения населения 60 пунктов, попавших в зону загрязнения.

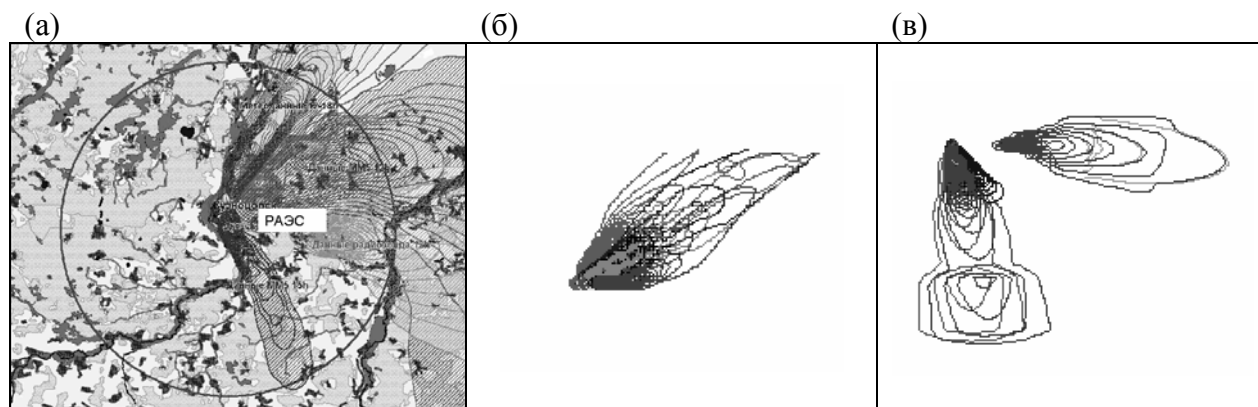


Рис. 2 – Сравнительная характеристика расчетов направлений выброса при разных метеоданных за период с 29.10.06. 13h по 29.10.06. 21h. (а) – по прогностическим данным модели MM5; (б) – по текущим данным метеостанций Украины; (в) – по текущим данным ветрового зондирования.

4 Выводы

1. Проведенные численные эксперименты с моделью MM5 и полученные предварительные оценки успешности прогнозов температуры и геопотенциала свидетельствуют о хорошем уровне прогноза барического поля и поля температуры в слое 1000-700 гПа. Ошибки прогноза температуры и ветра у земли близки среднему уровню.
2. Наиболее оптимальной метеорологической информацией для обеспечения региональных моделей атмосферного переноса загрязняющих веществ являются данные объективного анализа или результатов численного прогноза погоды, полученные с помощью соответствующих моделей национальных метеорологических служб (WRF, MM5, HIRLAM).
3. Необходимо продолжить численные эксперименты с моделью MM5 с подключением «модели поверхностного слоя земли» и выбором наиболее оптимальных схем параметризации пограничного слоя атмосферы для разных типовых и экстремальных синоптических ситуаций.

Литература

1. *Brown, R.B.* Soil Texture.SL29. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
2. *Багров А.Н.* Результаты сравнительной оценки успешности прогнозов элементов погоды на основе ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба. – Информационный сборник № 35, Гидрометцентр России.

3. Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиографических прогнозов. РД 52.27.284–91 – Комитет гидрометеорологии при Кабинете Министров СССР, Москва, 1991, 150 с.
4. Методические указания: Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях. – РД 52.04.52–85. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987, 52 с.
5. Руководства по краткосрочным прогнозам погоды. Часть 1. – Ленинград, Гидрометеоиздат, 1986
6. Серия норм МАГАТЭ по безопасности № NS–G–3.2 Рассеяние радиоактивных материалов в воздухе и воде и учет распределения населения при оценке площадки для атомных электростанций. <http://www-pub.iaea.org>.
7. *Талерко Н.Н., Гаргер Е.К.* Оценки первичного выброса из аварийного блока ЧАЭС с помощью моделирования атмосферного переноса (обзор). – Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобыля, 2006, Вып. 6, с. 80–90.
8. *Шейн Е.В., Капинос В.А.* Сборник задач по физике почв. – М.: Изд-во МГУ, 1994, 79 с.

Use of numerical weather model «mm5» for meteorological maintenance of emergency responsibility system on the npp

Abstract. *Adaptation of an open numerical weather model MM5 to geographical conditions of Ukraine is executed and the preliminary estimation of success forecasting of spatial pressure and temperature fields is analyzed for Ukraine territory and areas of nuclear power plants. Interaction of model MM5 and diffusion model “LEDI” provides necessary operational efficiency in an estimation of distribution of radioactive emissions from the nuclear power plant.*

Keywords: *numerical forecast, adaptation, success of forecasting, modeling, emergency.*